

空気ばねの制御による急曲線通過性能の向上

- 鉄道車両の輪重抜けの抑制とホーム段差解消のためのニーリング制御 -

東京大学 国際・産学共同研究センター /
生産技術研究所

概要

東京大学 国際・産学共同研究センターおよび生産技術研究所の須田義大教授らの研究グループは、財団法人メトロ文化財団からの助成金により、住友金属工業株式会社と共同で、鉄道車両用の空気ばね制御に関する研究開発を行ってきました。このたび、電動アクチュエータを用いて空気ばねの圧力を制御する新たな方式を開発し、鉄道車両の急曲線を低速で通過する際の輪重抜けを大幅に抑制することに成功しました。鉄道車両が低速で急曲線を通過する場合、左右の輪重アンバランスが構造的に発生し、さらに従来の機械式空気ばね制御方式では、輪重抜けを助長する場合があります、性能向上が求められていました。今回の開発では、駅停車時において、ホームと床段差を解消するためのニーリング制御などにも適用でき、走行性能向上・安全性の向上のみならず、鉄道車両のバリアフリー化をも推進することが期待されます。

鉄道車両の空気ばね系

鉄道車両では、良好な乗り心地を得るため、線路の不整、レール継ぎ目などの外乱から車体の振動を軽減するサスペンションとして、車体と台車間に空気ばねが使われています(図1)。ばね剛性は、柔らかいと乗り心地は向上しますが、ラッシュ時などのように多くの乗客が乗車すると、荷重によってばねがたわみ、車体が低下してしまいます。そのため、空気ばね系では、乗り降りなどの荷重変化の時に、車体の高さを一定に保つために、自動高さ調整装置(以下、LV装置)があり、機械式のフィードバック制御を行い、車体を一定高さに保ち、ホームとの段差を解消することができます(図2)。

空気ばねが伸縮すると、車体と台車間の距離が変化します。このとき、LV装置の連結棒の長さは一定ですので、回転レバーが回転し、空気ばねに空気を供給・排出するための弁が動作し、ばねが縮んだ場合は空気を供給してばねを膨らませます。ばねが伸びた場合は、空気を排出してばねを縮めます。このような機械式の制御機構により、車体の高さは一定に保つことができます。

通勤ラッシュ時の通勤電車の終着駅などで、多くの乗客が一度に降りたときなどには、シューシューという音がしますが、これは、空気ばね系の自動高さ調整装置が作動してい

る様子です。

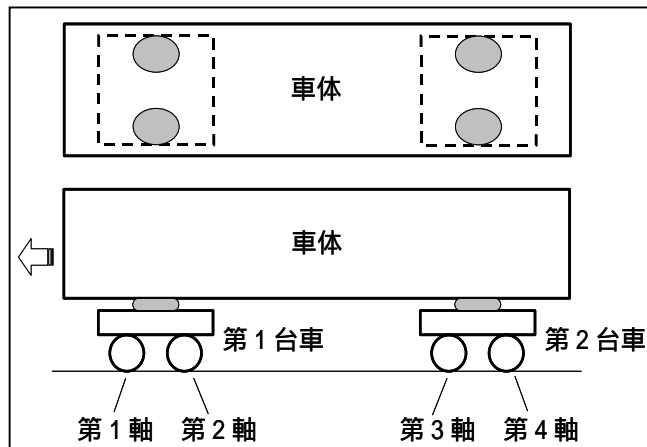


図1 鉄道車両の空気ばね系

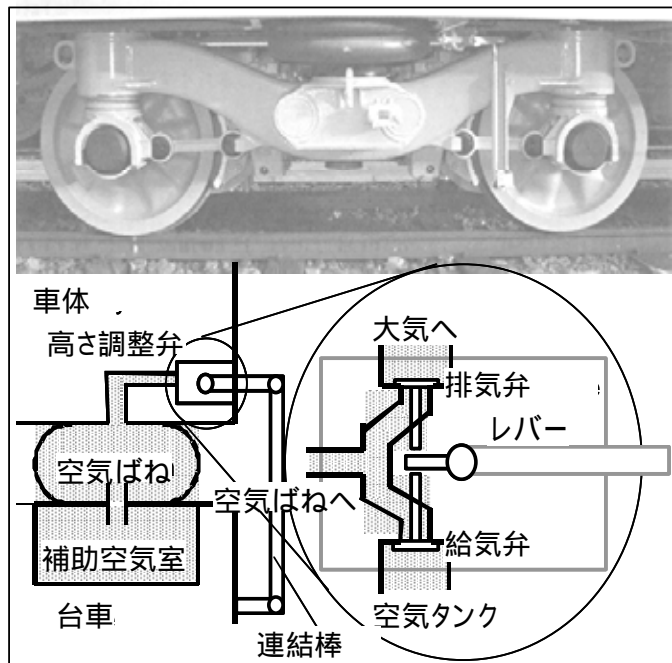


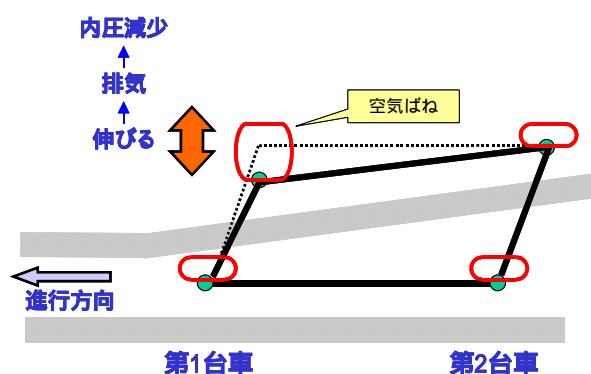
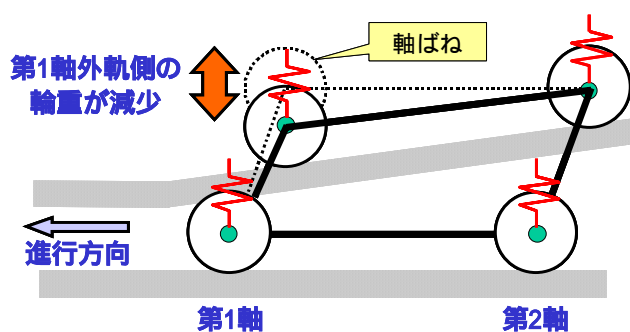
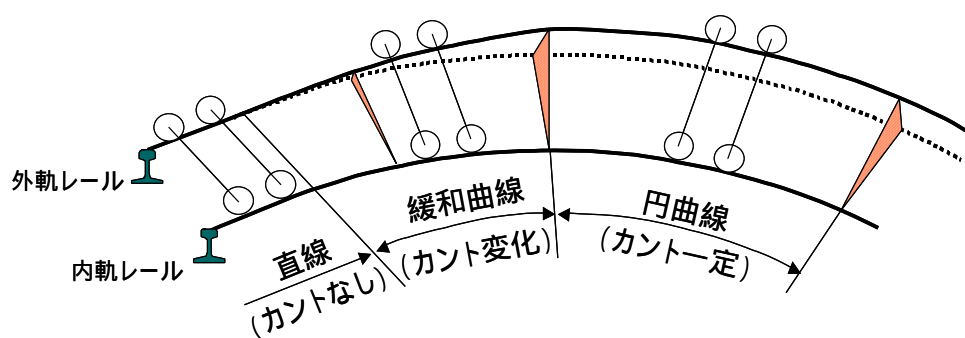
図2 空気ばねの自動高さ調整機能

急曲線の出口緩和区間を低速で走行する時の「輪重抜け」現象

曲線区間では、遠心力の作用を打ち消すように、軌道面にはバンク（カントという）がつけられています。そのため、曲線から直線に戻る出口緩和曲線区間では、軌道面が傾いていることとなります(図3)。このとき、平面は3点で決まりますが、車体は四本の空気ばねで支持しており、さらに、台車は四つの車輪で支持されているため、構造的に輪重抜けが発生することになります。低速で曲線を走行すると、遠心力が作用しないため、内側の車輪の輪重が増大し、外軌側の車輪の輪重は小さくなります。台車のサスペンションが十

分に伸縮しないと最も横圧が高くなる先頭車輪の輪重抜けが最も顕著になってしまいます。2000年3月に発生した日比谷線の脱線事故では、静止輪重アンバランスが主要因でしたが、このような急曲線の出口緩和曲線区間において低速走行時に脱線したものです。

空気ばね系のLV装置は、本来は車高調整が目的ですが、このような状況において、輪重ぬけを助長する作用をすることがあります。重力によって車体が内側に傾斜するため、外側の空気ばねは伸びることになります。そのため、LV装置は空気ばねを縮めようと作用し、空気ばね内の空気を排気し、空気ばねの圧力を下げてしまいます。低速走行ではこの動作が曲線通過中に発生し、輪重抜けが助長される可能性があります。



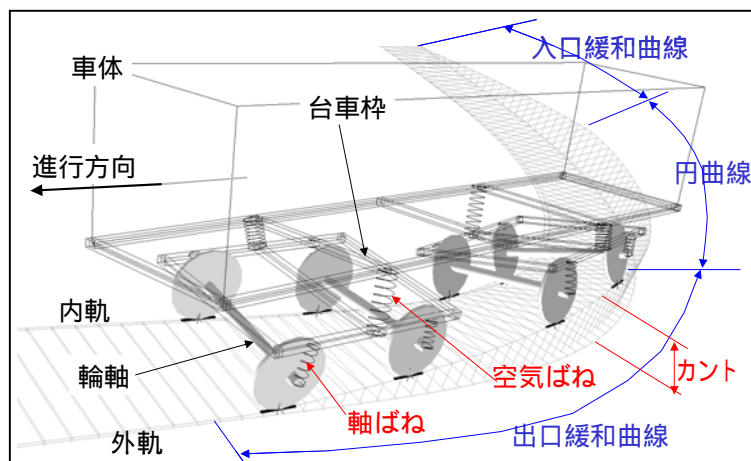


図3 緩和曲線通過時の輪重抜け

新方式の提案

以上の課題を解決するために、新たな空気ばねの制御方式を考案しました。車体・台車間の上下相対変位を伝達する役目を持つ連結棒の長さを、電動アクチュエータを用いて伸縮させる方式です（図4）。以前にも空気ばね系の制御手法は提案されておりましたが、電磁弁を制御する方式であり、従来の機械式LV装置とは互換性のないものでした。一方、本提案は以下の特徴を持っています。

- ・ 従来の空気ばね系の連結棒を電動アクチュエータに交換するだけでよいため、在来車両の改造も容易であり、導入がしやすい。
- ・ 連結棒を伸縮させることで空気ばねの給排気を制御できる。
- ・ 設置スペースの制約が少ない。
- ・ トラブル発生時にも、従来の機械式LV装置と同等の機能を維持させることが可能であり、フェイルセーフが確保させる。
- ・ 電動アクチュエータの伸縮量によって、空気ばね高さの目標値設定もできるので、車体傾斜動作が可能。そのため、駅停車時におけるホーム段差縮小のためのニーリング制御もあわせて可能である。



図4 制御装置

制御動作

図5に、本新方式の制御手法の動作状況を示します。緩和曲線の出口区間において、機械式のLV装置では外軌側の空気ばねの圧力を下げてしまいましたが、このとき、電動アクチュエータを動作させて連結棒の長さを伸ばします。すると、LV装置のレバーが上がり、空気ばねが伸びているにもかかわらず、LV装置はあたかも空気ばねが縮んでいるような動作をすることになります。よって、空気ばねに圧縮空気が供給されて圧力が増大し、輪重抜けを防止することができます。

コンピュータシミュレーションにより、動作を示したものを図5の下のグラフに示します。

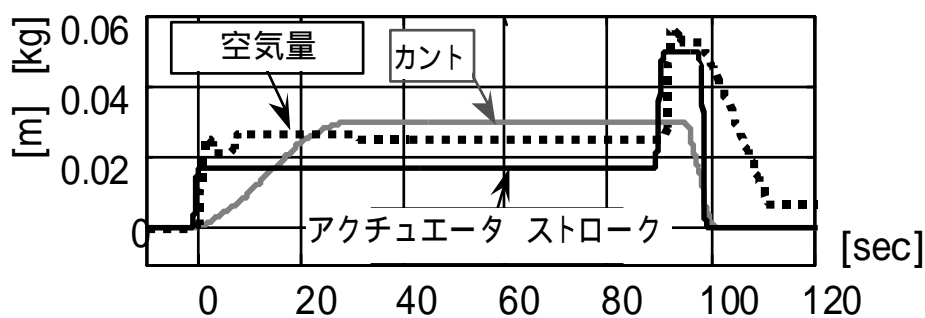
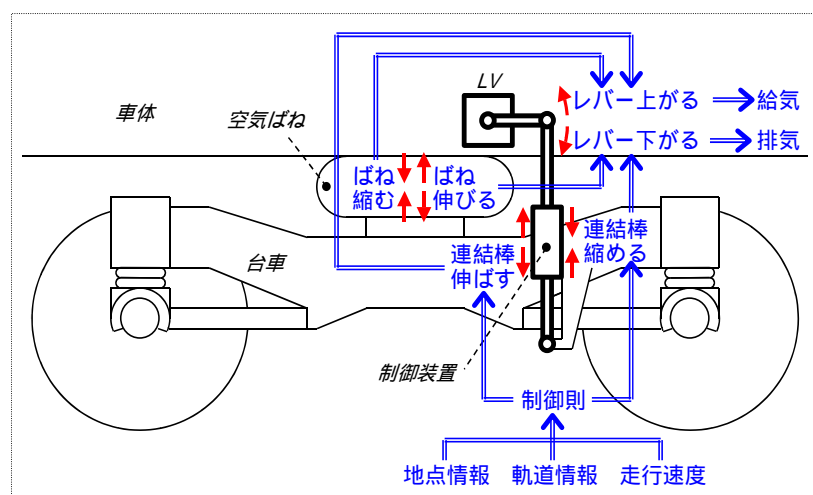


図5 制御動作

実物大一車両モデル試験機による検証実験

提案方式の有用性を検証するために、実物大の一車両モデル試験機を用いた走行模擬試験を実施しました。試験機では、実物の地下鉄などで使用されている台車を用いて、緩和曲線を通っている状況を再現できます。緩和曲線の条件、走行条件などを変化させて実験を実施し、空気ばね系の動作状況と輪重を計測しました。これらの実験により提案した制御方式の効果を確認しました。

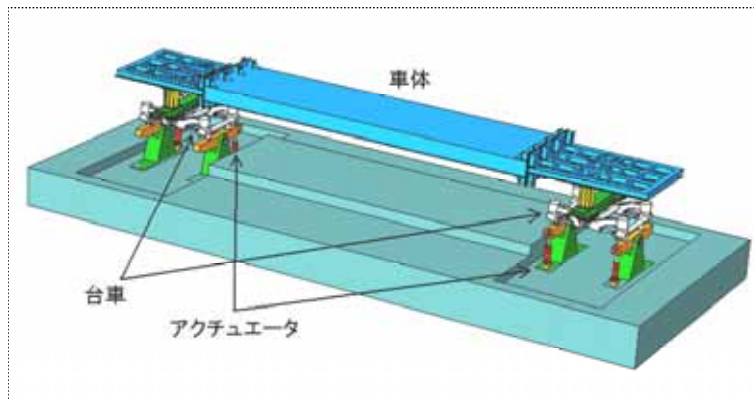


図6 試験装置の概要（住友金属工業）

制御装置の工夫と制御効果の向上

提案する制御方式の効果を向上させるために、LV弁についても工夫を施しました。制御によって速やかに空気ばねの圧力を増大させるためには、LV弁より供給される空気流量を増大させる必要があります。そのため、本制御方式に適した新たなLV弁も試作しました。また、連結棒をアクチュエータに置き換える方式では、台車の振動の影響をアクチュエータが受ける恐れがあります。そのため、車体にアクチュエータを取り付け、連結棒を用いてLV弁を回転させる新たな方式も考案しました（図7）。

これらの工夫により、制御効果が一層向上し、より実用的なシステムが完成しました。図7に、試験結果の一例として、カント60mm、走行速度10km/h、入口緩和曲線長90m、円曲線長180m、出口緩和曲線長18mの条件での結果を示します。新たなLV弁により、輪重抜けがほぼ防止できることが分かります。すなわち、走行性能の向上と安全性の一層の向上に役立つこととなります。

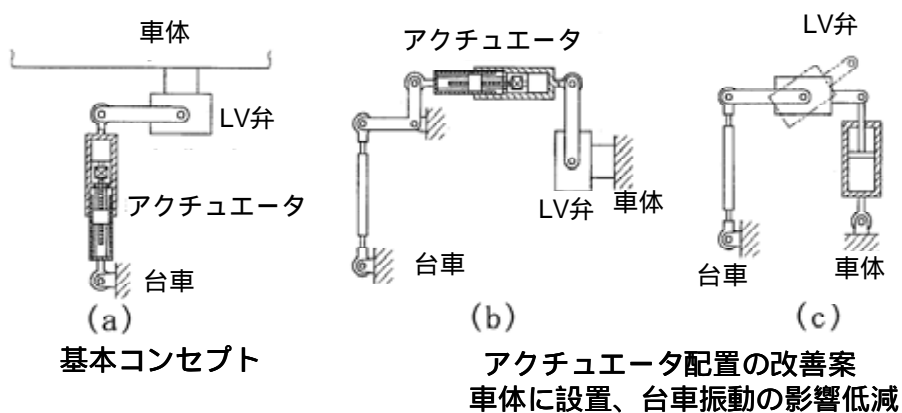


図7 電動アクチュエータの配置の工夫

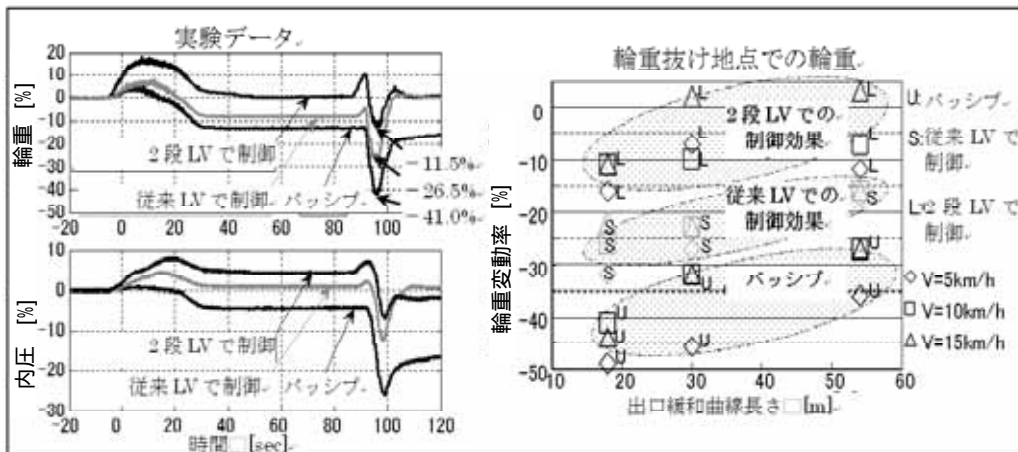


図 8 制御効果

バリアフリーに対応したニーリング制御への適用

提案した制御装置では、電動アクチュエータの動作により空気ばねの伸縮を制御できます。そのため、圧力を変化させて輪重抜けを抑制するだけでなく、車体の高さや傾斜をも自由に制御することができます。そのため、たとえば、ホームと出入り口の段差を縮小するためのニーリング制御も行うことができます。これにより、鉄道車両のバリアフリー化を促進することにも役立ちます。

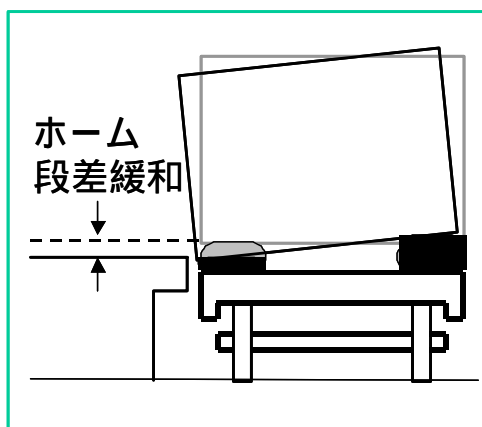


図 8 ニーリング制御

本件に関する問い合わせ先：東京大学 国際・産学共同研究センター /
 生産技術研究所
 教授 須田 義大
 Fax 03-5452-6194
 E-mail suda@iis.u-tokyo.ac.jp
 以上